Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 207- 220

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد- تیر 1399، ص. 220-207

بررسی اثر سطوح مختلف ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر ویژگی‌های تغذیه‌ای، فیزیکوشیمیایی و حسی کیک اسفنجی

نگین زنگنه[1]- حسن برزگر[2]*- بهروز علیزاده بهبهانی[3]- محمدامین مهرنیا[3]

تاریخ دریافت: 1398/04/20
تاریخ پذیرش: 1398/05/02

چکیده

ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* (*Spirulina platensis*) حاوی مواد مغذی منحصر به فرد و فوق العاده‌ای است که می‌توان از آن در تولید مواد غذایی عملگر استفاده کرد. از آنجایی که علم و دانش مرتبط با غنی‌سازی کیک اسفنجی به‌عنوان یک محصول پرطرفدار میان اقشار مختلف جامعه (به‌ویژه کودکان) محدود می‌باشد، لذا هدف از این پژوهش، تولید کیک اسفنجی غنی شده با ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و بررسی ویژگی‌های تغذیه‌ای، فیزیکوشیمیایی و حسی این فرآورده بود. در این پژوهش تجربی، اثر افزودن ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در چهار سطح (صفر، 0/5، 1 و 1/5 درصد بر اساس وزن آرد) بر ویژگی‌های تغذیه‌ای (پروتئین، چربی، آهن، روی و مس)، خواص فیزیکوشیمیایی (رطوبت، pH، فنل کل، پتانسیل آنتی‌اکسیدانی، تخلخل، بافت، رنگ) و ویژگی‌های حسی (عطر و بو، رنگ، بافت، طعم و مزه، قابلیت جویدن و پذیرش) نمونه‌های کیک اسفنجی بررسی شد. نتایج نشان داد میزان پروتئین، چربی، مواد معدنی و دیگر ویژگی‌های تغذیه‌ای با افزایش درصد ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* افزایش یافت. میزان تخلخل نمونه‌های کیک اسفنجی با افزایش درصد ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* کاهش یافت و با افزایش درصد ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* پارامترهای بافتی (سفتی، پیوستگی و صمغی شدن) در روزهای 1، 5 و 10 روز پس از پخت افزایش یافت. نتایج رنگ‌سنجی نشان داد که اثر *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر شاخص‌های رنگی پوسته و مغز(L^*، a^* و b^*) معنی‌دار بود ($P<0/05$). ارزیابی حسی نمونه‌ها نشان داد افزودن ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کیک اسفنجی در سطح 0/5 درصد، سبب کسب بیشترین امتیاز پذیرش کلی شد.

واژه‌های کلیدی: *اسپیرولینا پلاتنسیس*، پارامترهای بافتی، کیک اسفنجی، ویژگی‌های حسی.

مقدمه

یکی از راه‌های پیش‌گیری از بروز سوء تغذیه در کودکان زیر پنج سال، غنی‌سازی خوراکی‌های مصرفی و جایگزین کردن آنها به‌جای مواد غذایی کم ارزش تغذیه‌ای (نظیر چیپس، پفک و نوشابه‌های گازدار) می‌باشد (صالحی‌فر و همکاران، 1391). با توجه به تقاضای بالای مصرف‌کنندگان برای دستیابی به محصولات غذایی سالم و با کیفیت، امروزه یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهشگران صنعت غذا، تولید مواد غذایی سالم، غنی شده و دارای ارزش تغذیه‌ای بالا است (اسمعیلی و همکاران، 1396).

اسپیرولینا پلاتنسیس[4] متعلق به شاخه سیانوباکتریا[5]، خانواده اُسیلّاتوریاسه[6]، اتوتروف و فتوسنتزکننده بوده و از طریق تقسیم دوتایی تکثیر می یابد. *اسپیرولینا پلاتنسیس* ریزجلبک چندسلولی و رشته‌ای سبزآبی است که به‌طور طبیعی در دریاچه‌های گرمسیر و قلیایی آمریکا، مکزیک، آسیا و آفریقای مرکزی رشد می‌کند. *اسپیرولینا پلاتنسیس* برای رشد نیاز به حداقل مواد مغذی داشته و تحت شوری و سطح کربنات بالا نیز می‌تواند رشد کند (مستولی‌زاده و همکاران، 1398؛ Abu-Taweel *et al*., 2019). *اسپیرولینا پلاتنسیس* در مقایسه با سایر جلبک‌ها دارای کارآیی بیشتر، قیمت پایین‌تر و ارزش تغذیه‌ای بالاتر بوده به همین دلیل از آن به‌عنوان «غذایی برای آینده» یاد شده است (قائنی و همکاران، 1389). *اسپیرولینا پلاتنسیس* به‌عنوان یک غذای پایدار و مهم در محصولات غذایی و ترکیبات دارویی بیولوژیکی استفاده شده و دارای سطح وسیعی از مواد مغذی شامل پروتئین (55 تا 70 درصد)، کربوهیدرات (30 درصد)، چربی (8 درصد) [لینولئیک[7]، اولئیک[8]،

1، 2 و 3- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(*-نویسنده مسئول: Email: hbarzegar@asnrukh.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i2.81859

4 *Spirulina platensis*
5 Cyanobacteria
6 Oscillatoriaceae
7 Linoleic
8 Oleic

گامالینولنیک[1]، ایکوزاپنتانوئیک[2]، استریادونیک[3]، آرشیدونیک[4] و دوکوزاهگزانویک[5]]، اسیدآمینه‌های ضروری (لیزین[6]، متیونین[7] و سیستئین[8])، ویتامین‌ها (حدود 1 درصد) (ویتامین B، D، E، اسیدآسکوربیک و به‌ویژه ویتامین B_{12})، مواد معدنی (آهن، پتاسیم، روی، کلسیم، سلنیوم، منیزیم، کروم، مس، فسفر، منگنز و سدیم)، الیاف رژیمی (3 درصد)، فیتوکمیکال‌ها و رنگدانه فیکوسیانین[9] می‌باشد (سوزنکار و همکاران، 1397؛ Abu-Taweel *et al*., 2019). به علت عدم وجود سلولز و مقدار اندک نوکلئیک اسید در ترکیب ساختاری *اسپیرولینا*، این ریزجلبک به‌راحتی هضم و جذب بدن می‌گردد. وجود فیکوسیانین، ویتامین B_{12}، فنوئیک اسیدها و توکوفرول‌ها باعث افزایش هضم چربی‌ها و جلوگیری از اکسیداسیون شده است (باباخانی و همکاران، 1397).

سازمان غذا و داروی آمریکا[10] جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* را به‌عنوان GRAS[11] معرفی نموده و این ریزجلبک به‌صورت قرص، پودر و مکمل در رژیم غذایی انسان، مکمل غذایی در آبزی پروری و صنایع مرغداری به‌کار می‌رود (مستولی‌زاده و همکاران، 1396). اثرات درمانی *اسپیرولینا پلاتنسیس* شامل کاهش میزان کلسترول خون، محافظت در برابر برخی سرطان‌ها، ضددرد و التهاب، پیشگیری از ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی و افزایش مقاومت سیستم ایمنی بدن در پژوهش‌های متعدد پزشکی مورد تایید قرار گرفته است (مستولی‌زاده و همکاران، 1398؛ Abu-Taweel *et al*., 2019).

کیک نوعی شیرینی با بافت نرم و متخلخل است که مواد اصلی آن را آرد، روغن، شکر و تخم‌مرغ تشکیل می‌دهد. آرد به‌عنوان پایه اصلی کیک و شکل‌دهنده آن است (صالحی، 1397). کیک دارای تنوع و ماندگاری نسبتاً بالایی بوده و در بین افراد مختلف جامعه به‌ویژه کودکان و نوجوانان طرفداران زیادی دارد (دادور و همکاران، 1397).

صالحی‌فر و همکاران (1391)، و خزایی پول و همکاران (1394)، به‌ترتیب استفاده از جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* را در تولید کلوچه صنعتی و پاستیل کیوی بررسی کردند. این پژوهشگران ضمن دستیابی به ویژگی‌های تغذیه‌ای و حسی مطلوب، محصولی با میزان پروتئین، آهن، کلسیم و اسید آمینه‌های ضروری بالاتر نسبت به نمونه کنترل تولید کردند (صالحی‌فر و همکاران، 1391؛ خزایی پول و همکاران، 1394). غنی‌سازی ویفر روکش‌دار توسط سوزنکار و همکاران (1397)، اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پاستا توسط مستولی‌زاده و همکاران (1398)، و تاثیر مکمل غذایی *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر سیستم ایمنی ماهی توسط مستولی‌زاده و همکاران (1396)، مورد بررسی قرار گرفت. در تمامی پژوهش‌های مذکور اثر مثبت جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* تایید شد.

از آنجایی که جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در کشورهای توسعه یافته جایگاه واقعی خود را یافته اما نیاز به توجه بیشتر به این جلبک فراسودمند در کشور ایران احساس می‌شود، لذا هدف از این پژوهش، غنی‌سازی کیک اسفنجی با ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و ارزیابی اثر *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر ویژگی‌های تغذیه‌ای، فیزیکوشیمیایی و حسی آن بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال 1397 در آزمایشگاه‌های میکروبیولوژی، تکنولوژی و شیمی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام پذیرفت. مواد مصرفی شامل شکر (زرین البرز)، بیکینگ پودر (سهیل‌پور)، وانیل (برتر)، روغن مایع آفتابگردان (لادن)، تخم‌مرغ (تلاونگ) و آرد سفید گندم (نول کینو) بود.

اجزای فرمولاسیون کیک شامل: 100 گرم آرد، 40 گرم روغن، 50 گرم آب، 2 عدد تخم‌مرغ، 80 گرم شکر، 2 گرم بیکینگ پودر، 1 گرم وانیل بود. پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در سطوح صفر، 0/5، 1 و 1/5 درصد جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون کیک اسفنجی شد. جهت تولید کیک از روش شکر- خمیر استفاده شد. در این روش ابتدا سفیده و زرده تخم‌مرغ جدا گردید و زرده تخم‌مرغ با وانیل و شکر زده شده تا به رنگ کرم رنگ در آمد، در ادامه مواد مایع، آب و روغن اضافه گردید. در مرحله آخر آرد و بیکینگ پودر همراه با پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* الک شده و سفیده تخم مرغ اضافه شد و عمل هم‌زدن ادامه یافت تا مخلوط یک‌دست تشکیل شد (نورمحمدی و همکاران، 1389).

تعیین ترکیبات شیمیایی تشکیل‌دهنده جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و فعالیت ضدمیکروبی آن

ترکیبات شیمیایی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* شامل: رطوبت (استاندارد AACC 16-44)، خاکستر (استاندارد AACC 08-01)، چربی (استاندارد AACC 30-10)، پروتئین (استاندارد AACC 46-12)، pH (استاندارد AACC 02-52)، املاح معدنی (آهن، روی و مس) (استاندارد ملی ایران به شماره 9266) بود. به‌منظور تعیین

1 γ-Linolenic
2 Eicosapentaenoic
3 Stearidonic
4 Arachidonic
5 Docosahexaenoic
6 Lysine
7 Methionine
8 Cysteine
9 Phycocyanin
10 Food and drug administration
11 Generally recognized as safe

فعالیت ضدمیکروبی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* از روش‌های انتشار در آگار به کمک دیسک (دیسک دیفیوژن) و چاهک آگار استفاده شد. سویه‌های میکروبی استاندارد شامل *استافیلوکوکوس اورئوس*[1]، *باسیلوس سرئوس*[2]، *لیستریا اینوکوا*[3]، *اشرشیا کلی*[4] و *سودوموناس آئروژینوزا*[5] بود. غلظت‌های 40، 80، 120 و 180 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر از جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* تهیه شد. جهت فعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها، سوسپانسیون میکروبی (مطابق با استاندارد نیم مک-فارلند) به‌صورت تازه از هر سویه میکروبی تهیه شد. میزان 100 میکرولیتر از هر سویه میکروبی استاندارد بر سطح محیط کشت مولر هینتون آگار[6] کلنی باکتری ریخته شد و با اسپریدر استریل پخش گردید. دیسک‌های کاغذی (قطر 6 میلی‌متر و ضخامت 1 میلی‌متر) به مدت نیم ساعت درون غلظت‌های مختلف جلبک *اسپیرولیناپلاتنسیس* خیسانده شد، و سپس درون هر پلیت با رعایت فاصله 20 میلی‌متر از دیواره پتری و 25 میلی‌متر از یکدیگر، چهار دیسک در سطح پتری‌دیش قرار گرفت. در روش چاهک آگار به جای دیسک‌های کاغذی از چاهک‌های حفر شده درون پتری دیش استفاده شد. سپس پتری‌دیش‌ها کشت داده شده در هر دو روش به مدت 24 ساعت در دمای 37 درجه سانتی‌گراد گرمخانه گذاری شدند. پس از گذشت 24 ساعت قطر هاله‌های عدم رشد، با خط‌کش اندازه‌گیری و نتایج ثبت شد (Alizadeh Behbahani *et al*., 2018 ؛Behbahani *et al*., 2017).

آزمون‌های تغذیه‌ای و فیزیکوشیمیایی نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی غلظت‌های مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*

رطوبت

رطوبت نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان نگهداری در روزهای اول، پنجم و دهم مطابق با استاندارد AACC 44-16 اندازه‌گیری شد.

خاکستر

میزان درصد خاکستر نمونه‌های کیک اسفنجی در طی زمان مطابق با روش AACC 08-01 تعیین شد.

چربی

اندازه‌گیری چربی نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان طبق استاندارد AACC 30-10 در دستگاه سوکسله اتوماتیک انجام پذیرفت.

پروتئین

اندازه‌گیری پروتئین نمونه‌های کیک اسفنجی در طی زمان طبق استاندارد AACC 46-12 در دستگاه کلدال اتوماتیک انجام پذیرفت.

مواد معدنی

اندازه‌گیری عناصر معدنی آهن، مس و روی توسط دستگاه طیف‌سنجی نوری جذب اتمی منطبق با روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره 9266 صورت گرفت.

pH

pH نمونه‌های کیک اسفنجی در طی زمان طبق استاندارد AACC 02-52 توسط pHمتر (Metrohm ،827، سوئیس) اندازه‌گیری شد.

تعیین محتوای فنل

مقدار فنل کل طبق روش Sharma و همکاران (2011)، و با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS) انجام گرفت. 0/2 گرم نمونه با 4 میلی لیتر متانول اسیدی (1میلی‌لیتر اسیدکلریدریک، 80 میلی‌لیتر متانول، 10 میلی‌لیتر آب) مخلوط شد و به مدت 2 ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. 200 میکرولیتر عصاره به 2/5 میلی‌لیتر فولین اضافه شده، سپس سدیم کربنات و آب مقطر به آن اضافه شد. لوله‌های حاوی مخلوط حاصل که کاملا بدنه آن‌ها پوشیده شده است در دمای اتاق به مدت 30 دقیقه قرار گرفت. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج 760 نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

آزمون مهار رادیکال آزاد (تعیین پتانسیل آنتی‌اکسیدانی)

فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها طبق روش Jogihalli و همکاران (2011) انجام پذیرفت. در این روش یک گرم از نمونه با 10 میلی‌لیتر متانول اسیدی مخلوط شده و در دمای 40 درجه سانتی‌گراد در حمام آب به مدت 20 دقیقه قرار داده شد. مخلوط حاصل به مدت 20 دقیقه در دور 3000g سانتریفوژ گردید. 100 میکرولیتر عصاره به 2/9 میلی‌لیتر 2 و 2- دی فنیل -1- پیکریل هیدرازیل اضافه شده و به مدت 30 دقیقه در مکان تاریک گرمخانه‌گذاری شد. در نهایت جذب هر یک از نمونه‌ها در طول موج 517 نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و با جای گذاری در معادله (3)، درصد بازدارندگی محاسبه شد.

$$\text{درصد بازدارندگی} = \frac{\text{جذب شاهد} - \text{جذب نمونه}}{\text{جذب شاهد}} \times 100 \qquad (3)$$

تخلخل

ویژگی‌های ساختار مغز و توصیف‌گرهای بافت سطحی کیک با استفاده از یک سیستم آنالیز تصویر شامل یک دوربین تصویربرداری دیجیتال و یک کامپیوتر شخصی مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر در

1 *Staphylococcus aureus*
2 *Bacillus cereus*
3 *Listeria innocua*
4 *Escherichia coli*
5 *Pseudomonas aeruginosa*
6 Muller hinton agar

یک فاصله ثابت 30 سانتی‌متری از نمونه‌های قرار گرفته در یک جعبه سیاه (با ابعاد تقریبی $100\times100\times100\ cm^3$) و با نورپردازی با زاویه 45 درجه توسط لامپ‌های فلوئورسنتی، گرفته شد. سپس ارزیابی با استفاده از روش پردازش تصویر و با نرم‌افزار ImageJ نسخه 14/2 صورت گرفت. تخلخل، نسبت سطح کل حفرات به سطح کل تصویر، اندازه حفرات، نسبت تعداد حفرات به سطح کل حفرات و دانسیته سلولی، نسبت تعداد حفرات به سطح کل تصویر می‌باشد (نوری و همکاران، 1396).

رنگ

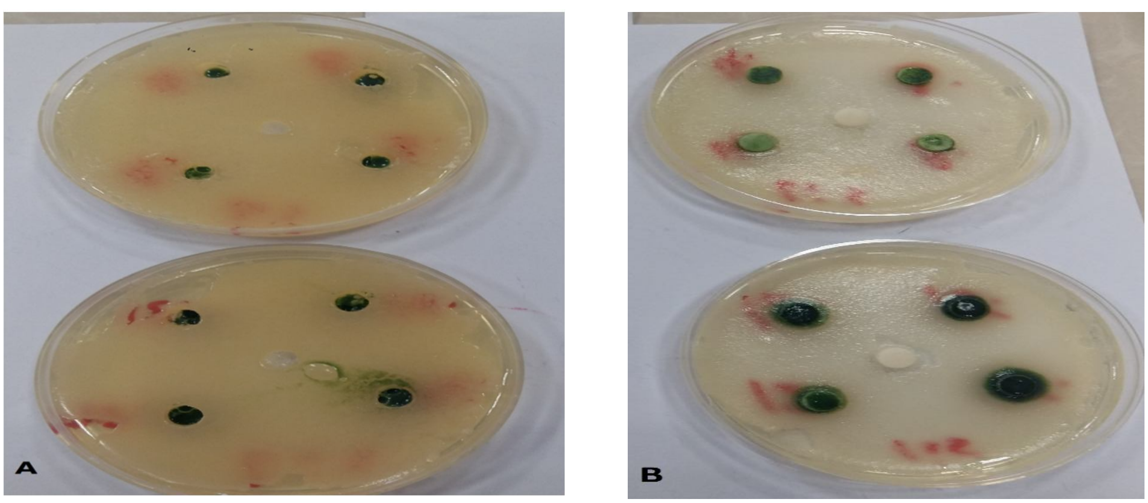
به‌منظور آنالیز رنگ پوسته و مغز نمونه‌های کیک اسفنجی (سه شاخص L^*، a^* و b^*) از دستگاه رنگ‌سنج Konika Minolta (CR-400، ژاپن) در فاصله زمانی دو ساعت پس از پخت استفاده شد. قبل از انجام آزمون دستگاه با استفاده از صفحه استاندارد سفید (L^* =94/43، a^*=-0/25، b^*= 2/04) کالیبره شد. شاخص L^* معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا 100 (سفید خالص) متغیر است. شاخص a^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از 120- (سبز خالص) تا 120+ (قرمز خالص) متغیر می‌باشد. شاخص b^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از 120- (آبی خالص) تا 120+ (زرد خالص) متغیر است (وطن‌دوست و همکاران، 1394).

بافت

بررسی بافت نمونه‌های کیک‌های اسفنجی تولیدی در فواصل زمانی 1، 7 و 14 روز پس از پخت و مطابق با استاندارد AACC 74-09 و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (TA-XT-PLUS Micro stable system، انگلستان) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد. آنالیز بافت خود شامل چندین فاکتور متفاوت مانند پیوستگی، حالت صمغی و سفتی بود. ابتدا قطعه مکعبی به ابعاد 2 سانتی‌متر از مغز کیک جدا شد. قطر پروب دستگاه 36 میلی‌متر، در نظر گرفته شد. پروب با سرعت 50 میلی‌متر در دقیقه به نمونه برخورد و به میزان 50 درصد سبب فشردگی گردید. پس از 10 ثانیه دوباره با همان سرعت به نمونه فشار وارد کرد. در طی آزمون نیرو در مقابل زمان ثبت شد. نیرو در نقطه ماکزیمم پیک اول منحنی نیرو- فاصله به‌عنوان سفتی بافت در نظر گرفته شد. با استفاده از منحنی نیرو- فاصله، نسبت محدوده پیک مثبت دوم به محدوده پیک مثبت اول به‌عنوان پیوستگی کیک در نظر گرفته شد و میزان چسبندگی از حاصل‌ضرب سفتی در پیوستگی به‌دست آمد.

ارزیابی حسی نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی غلظت‌های مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*

برای ارزیابی حسی نمونه‌های کیک اسفنجی از مقیاس هدونیک 5 نقطه‌ای استفاده شد. صفات حسی در این پژوهش شامل رنگ (شدت، شفافیت و کدورت رنگ ظاهری پوسته کیک)، بافت (سفتی و نرمی به هنگام جویدن)، عطر و بو (میزان احساس عطر مطلوب در تست بویایی)، طعم و مزه (میزان درک طعم مطلوب در تست چشایی)، قابلیت جویدن (تعداد دفعات جویدن برای آماده ساختن نمونه جهت بلع) و پذیرش کلی (میزان پذیرش محصول با در نظر گرفتن سایر ویژگی‌های حسی) توسط 10 ارزیاب مورد بررسی قرار گرفت. در آزمون هدونیک 5 نقطه‌ای به‌ترتیب 1 بسیار بد، 2 بد، 3 متوسط، 4 خوب و 5 بسیار خوب است. به عدد 1 کمترین امتیاز و عدد 5 بیشترین امتیاز تعلق می‌گیرد (ایوبی، 1397).



شکل 1- اثر ضدباکتریایی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس بر باکتری لیستریا اینوکوا* به روش های چاهک آگار (A) و دیسک دیفیوژن (B).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد. ابتدا آنالیز واریانس و سپس آزمون مقایسه میانگین تکرارها در قالب آزمون دانکن و در سطح معنی‌داری 5 درصد مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS (Version18.0, SPSS Inc., Chicago, USA) انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی فعالیت ضدمیکروبی پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*

نتایج حاصل از فعالیت ضدباکتریایی پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به روش‌های دیسک دیفیوژن و چاهک آگار نشان داد که در غلظت‌های 40، 80، 120 و 160 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر هیچ اثری بر رشد سویه‌های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *لیستریا اینوکوا*، *اشرشیاکلی* و *سودوموناس آئروژینوزا* مشاهده نشد. همانگونه که در شکل 1، مشخص است پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* نتوانست هاله عدم رشد میکروبی ایجاد کند.

ترکیبات شیمیایی پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و آرد گندم

نتایج آنالیز ترکیب شیمیایی پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و آرد گندم مورد استفاده در کیک اسفنجی در جدول 1، آورده شده است. نتایج نشان داد که پودرجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* غنی از پروتئین (56/33 درصد) و آهن (13/18 پی‌پی ام) بود. پژوهش‌های مشابه‌ای نیز به درصد بالای پروتئین ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* اشاره کرده‌اند (صالحی‌فر و همکاران، 1391؛ خزایی پول و همکاران، 1394). میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* براساس درصد مهارکنندگی برابر با 85/04 درصد بود.

جدول 1- ترکیب شیمیایی آرد گندم و ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*

ترکیب شیمیایی	آرد گندم	*اسپیرولینا پلاتنسیس*
رطوبت (درصد)	10/89	4/50
pH	6/5	7/45
خاکستر (درصد)	0/6	0/76
چربی (درصد)	3/33	5/80
پروتئین (درصد)	10/30	56/33
پتانسیل آنتی‌اکسیدانی (درصد)	38/67	85/04
فنل کل	0/47	1/81
آهن (ppm)	2/63	13/18
روی (ppm)	0/36	0/81
مس (ppm)	0/29	0/36

ارزیابی اثر سطوح مختلف ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکوشیمیایی کیک اسفنجی در طی مدت زمان نگهداری

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات رطوبت کیک اسفنجی

نتایج حاصل از تغییرات میزان رطوبت کیک اسفنجی حاوی غلظت‌های صفر، 0/5، 1 و 1/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در جدول 2، نشان داده شده است. همانطور که نتایج نشان داد، افزودن جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کیک اسفنجی طی مدت زمان نگهداری (روز اول، پنجم و دهم) باعث کاهش درصد رطوبت کیک اسفنجی شد. نتایج حاکی از آن بود که کمترین میزان رطوبت کیک اسفنجی در روز دهم نگهداری در بین تمامی تیمارها، مربوط به افزودن 1/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بود. ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* دارای حدود 4/5 درصد رطوبت است در حالی که آرد گندم حدود 11 درصد رطوبت دارد می‌توان کاهش رطوبت نمونه‌ها با افزایش درصد *اسپیرولینا پلاتنسیس* را به این عامل نسبت داد. نتایج حاصل از تغییرات رطوبت در کیک اسفنجی با نتایج پژوهش مرادی و همکاران (1395)، که به غنی‌سازی کیک با جلبک اسپیرولینا پرداختند، مطابقت داشت.

جدول 2-اثر جایگزینی درصدهای مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* با آرد گندم بر میزان رطوبت کیک اسفنجی در روزهای مختلف نگهداری

اسپیرولینا پلاتنسیس (%)	رطوبت روز اول	رطوبت روز پنجم	رطوبت روز دهم
صفر	33/48±0/24[Aa]	26/18±0/41[Ba]	23/90±0/28[Ca]
0/5	31/10±0/05[Ab]	24/03±0/06[Bb]	23/69±0/18[Ca]
1	30/45±0/13[Ac]	23/04±0/04[Bc]	22/10±0/31[Cb]
1/5	29/36±0/07[Ad]	21/57±0/56[Bd]	20/76±0/12[Cc]

حروف غیرمشابه بزرگ در ردیف و حروف غیرمشابه کوچک در ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح آماری 5 درصد می‌باشد.

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات pH، خاکستر و املاح معدنی کیک اسفنجی

نتایج اثر سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات pH نمونه‌های کیک اسفنجی در مدت زمان نگهداری (روز اول، پنجم و دهم) در جدول 3، آورده شده است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش درصد سطوح مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* میزان pH نمونه‌های کیک اسفنجی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<0/05$). افزایش pH نمونه‌های مختلف کیک اسفنجی می‌تواند به علت pH قلیایی *اسپیرولینا پلاتنسیس* باشد (باباخانی و همکاران، 1397). زارع و همکاران (1395)، گزارش کردند که افزودن پودر سنجد به کیک سبب کاهش pH می‌گردد. این پژوهشگران علت کاهش pH را، به کاهش تحرک یون‌های هیدروژن و همچنین کمتر بودن میزان پروتئین آرد سنجد نسبت به آرد کیک مرتبط دانستند. بنابراین می‌توان بیان کرد که میزان بالای درصد پروتئین در پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و افزایش تحرک یون‌ها دلیلی بر افزایش pH نمونه‌های کیک اسفنجی بود.

نتایج اثر افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر میزان خاکستر کیک اسفنجی در جدول 3، آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* میزان خاکستر نمونه‌های مختلف کیک اسفنجی افزایش یافت. از نظر آماری افزودن درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد در نمونه‌های کیک اسفنجی شد. علت بالاتر بودن خاکستر نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* را می‌توان به بالا بودن میزان خاکستر و همچنین میزان بالای مواد معدنی در جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* نسبت به آرد گندم مرتبط دانست (جدول 1). نتایج یافته‌های مطالعه حاضر با پژوهش مهربان سنگ آتش (1392)، همخوانی داشت.

نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات مواد معدنی نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان نگهداری در جدول 3، آورده شده است. نتایج نشان داد که افزودن پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کیک اسفنجی باعث ایجاد اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد شد. میزان مواد معدنی در کیک‌های حاوی پودر جلبک نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت. جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به‌عنوان یک منبع غنی از آهن شناخته شده است (Golmakani *et al*., 2015). افزودن جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به مواد غذایی مختلف می‌تواند باعث افزایش مقدار آهن گردد. نمونه حاوی 1/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بیشترین میزان مواد معدنی را در بین تمامی نمونه‌های کیک اسفنجی داشت.

جدول 3- اثر سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر میزان pH، خاکستر و مواد معدنی کیک اسفنجی

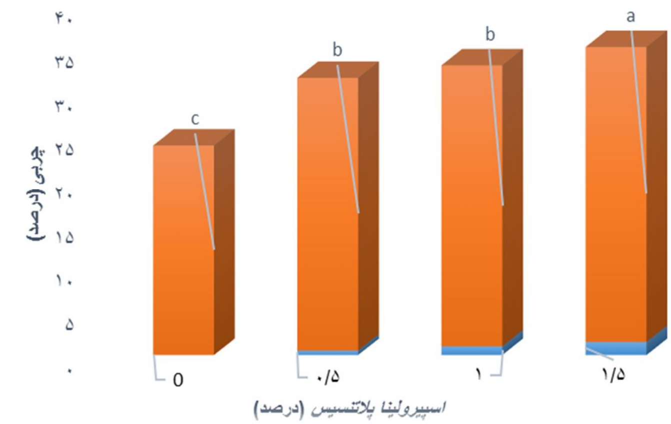
سطح جایگزینی (%)	pH	خاکستر	آهن	روی	مس
صفر	7/29±0/005[d]	0/7±0/025[d]	0/913±000[d]	0/3799±000[d]	0/2586±0/002[d]
0/5	7/33±0/005[c]	0/46±0/041[c]	1/198±000[c]	0/4584±0/002[c]	0/2700±000[c]
1	7/50±0/005[b]	0/63±0/041[b]	1/257±000[b]	0/5904±000[b]	0/7097±000[b]
1/5	7/61±0/005[a]	0/75±000[a]	1/490±000[a]	0/8114±0/002[a]	1/218±0/001[a]

حروف غیرمشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار نمونه‌ها در سطح $p<0/05$ است.

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات چربی کیک اسفنجی

نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات چربی نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان نگهداری در شکل 2، نشان داده شده است. براساس آنالیزهای آماری بین نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی سطوح مختلف ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و نمونه کنترل اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0/05$). نتایج نشان داد که افزودن پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* باعث افزایش میزان چربی در نمونه‌های کیک اسفنجی شد. نمونه حاوی 1/5 درصد پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و نمونه کنترل به‌ترتیب حاوی

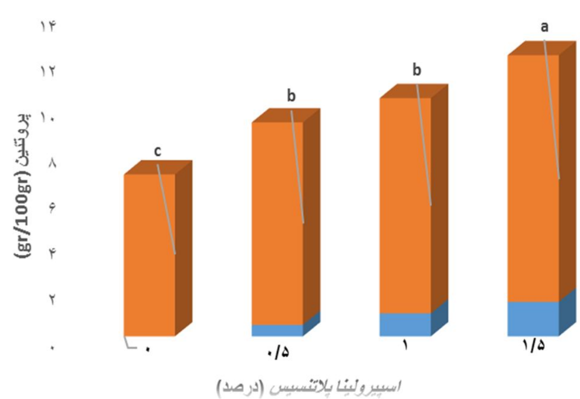
بالاترین و کم‌ترین میزان چربی بود. علت افزایش میزان چربی در نمونه‌های کیک اسفنجی به دلیل میزان بالای چربی بالاتر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* نسبت به آرد گندم بود (جدول 1). Lemes و همکاران (2012) سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* را در پاستا مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که افزودن پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به پاستا باعث افزایش میزان چربی شد. نتایج این پژوهشگران با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی داشت.



شکل ۲- اثر جایگزینی درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* با آرد گندم بر میزان چربی کیک اسفنجی
(حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارد).

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات پروتئین کیک اسفنجی

نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات پروتئین نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان نگهداری در شکل 3 نشان داده شده است. همانطور که در شکل 4 مشخص است افزودن پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* باعث افزایش پروتئین نمونه‌های کیک اسفنجی نسبت به نمونه کنترل شد. علت افزایش پروتئین نمونه‌های کیک اسفنجی نسبت به نمونه کنترل به علت وجود مقدار قابل توجه پروتئین (56/33 درصد) در جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* است. اضافه کردن جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به ترکیب کیک اسفنجی باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین در نمونه‌ها شد ($P < 0/05$). بالاترین مقدار پروتئین مربوط به نمونه کیک اسفنجی حاوی 1/5 درصد پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بود. یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج سوزنکار و همکاران (1397)، و زرین و همکاران (1393)، مطابقت داشت.

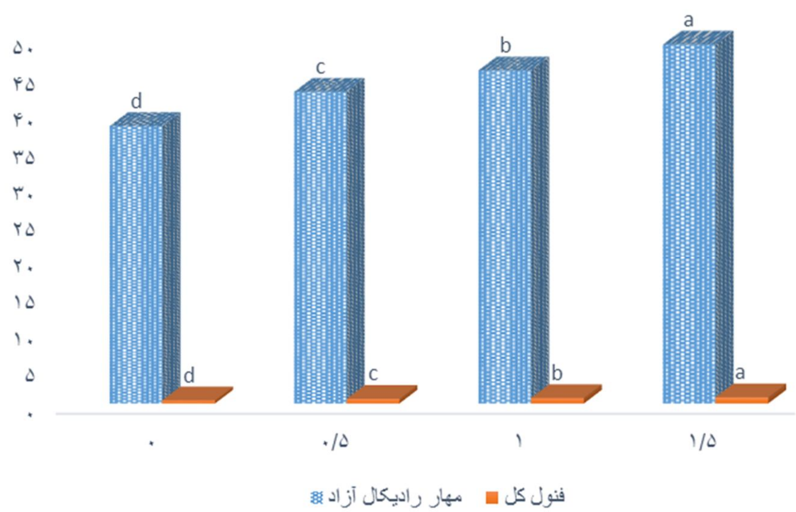


شکل 3- اثر جایگزینی درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* با آرد گندم بر میزان پروتئین کیک اسفنجی
(حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارد).

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر میزان تغییرات فنل کل و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی کیک اسفنجی

نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر میزان فنل کل نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان نگهداری در شکل 5، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میزان فنل کل نمونه‌های کیک اسفنجی با افزایش درصد پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت. علت افزایش فنل کل نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* را می‌توان به مقدار بالای مواد فیتوشیمیایی و بیولوژیکی فعال نظیر فلاوونوئیدها، استرول‌ها و دیگر ترکیبات فنلی نسبت داد.

نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر پتانسیل آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان نگهداری در شکل 5، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که افزودن پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر نمونه‌های کیک اسفنجی باعث افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی شد. از نظر آماری اختلاف معنی‌داری میان نمونه‌های مختلف کیک اسفنجی در سطح معنی‌داری 5 درصد مشاهده شد (شکل 4). صالحی‌فر و همکاران (1391)، گزارش کردند که عصاره الکلی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به‌طور معنی‌داری نسبت به آنتی‌اکسیدان‌های شیمیایی مانند هیدروکسی آنیزول بوتیله[1] و بتاکاروتن و عصاره آبی آن نسبت به اسیدگالیک و کلروژنیک اسید اثر آنتی‌اکسیدانی بیشتری داشت. علوی و همکاران (1394)، وجود ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* را مورد تایید قرار دادند.



شکل 4- تغییرات میزان فنل کل و فعالیت مهار رادیکال آزاد (پتانسیل آنتی‌اکسیدانی) درصدهای مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در کیک اسفنجی

(حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌داری دارد).

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات رنگ کیک اسفنجی

نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات رنگ نمونه‌های کیک اسفنجی طی زمان نگهداری در جدول 4، آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کیک اسفنجی، نمونه‌ها سبزتر شده و تفاوت رنگ مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0/05$). نتایج آنالیز رنگ پوسته و مغز کیک اسفنجی نشان داد که بیشترین شاخص L^* یا روشنی مربوط به نمونه کنترل بود. کمترین روشنی مشاهده شده مربوط به نمونه حاوی 1/5 درصد پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بود. با افزایش درصد پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به نمونه‌های کیک اسفنجی میزان روشنی پوسته و مغز کاهش یافت. مولفه a^* برای پوسته و مغز کیک اسفنجی نیز با افزایش درصد پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* کاهش یافت. به عبارت دیگر رنگ نمونه‌ها به سمت رنگ سبز میل کرد. مولفه b^* برای نمونه کنترل بیشترین میزان بود، به طوری که رنگ نمونه کنترل به سمت زردی

1 Butylated hydroxy anisole

میل می‌نمود و برای نمونه‌های حاوی پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* کاهش یافت. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مستولی‌زاده و همکاران (1396)، و Golmakani و همکاران (2015)، مطابقت داشت. بنابراین می‌توان از جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، به‌عنوان یک رنگ‌دهنده طبیعی (رنگدانه آن فایکوسیانین است) در محصولات غذایی بهره‌مند شد (خزایی‌پول و همکاران، 1394).

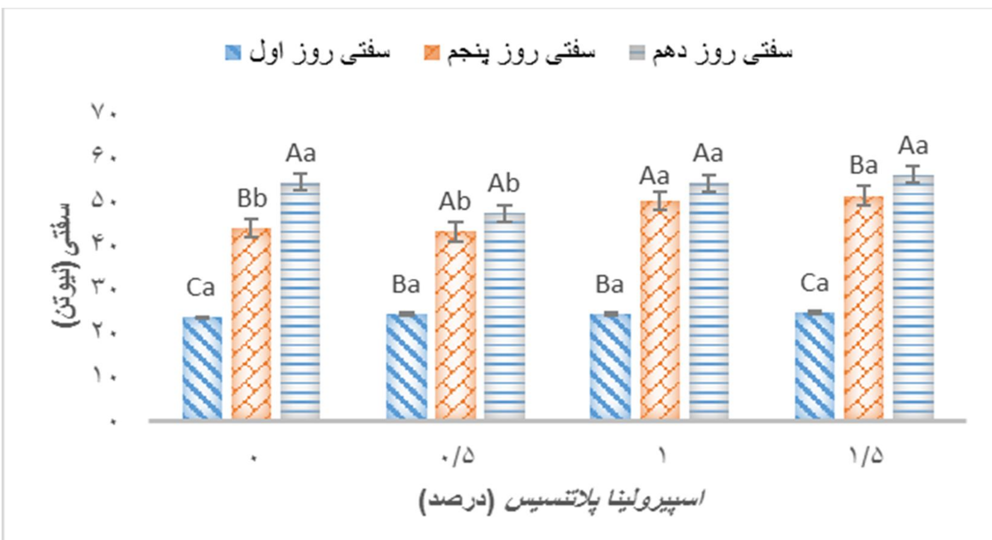
جدول 4- اثر سطوح مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر رنگ پوسته و مغز کیک اسفنجی

سطح جایگزینی (%)	L* مغز	a* مغز	b* مغز	L* پوسته	a* پوسته	b* پوسته
صفر	54/90±0/969[a]	-2/32±0/11[a]	16/95±0/74[a]	48/50±0/38[a]	6/09±0/08[a]	23/01±0/33[a]
0/5	51/30±0/231[b]	-4/41±0/47[b]	14/83±0/02[b]	44/80±2/28[b]	3/63±0/04[b]	21/54±0/28[b]
1	48/59±1/203[c]	-6/72±0/09[c]	14/16±0/05[bc]	40/90±0/65[c]	3/36±0/03[c]	16/22±0/31[c]
1/5	45/58±0/472[d]	-7/07±0/23[c]	13/58±0/38[c]	38/27±0/59[d]	3/25±0/26[c]	12/67±0/37[d]

حروف غیرمشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری نمونه‌ها در سطح $p<0/05$ است.

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات بافت کیک اسفنجی

اثر افزودن ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر سفتی بافت نمونه‌های کیک اسفنجی طی روزهای اول، پنجم و دهم در شکل 5، آورده شده است. نتایج بیانگر افزایش سفتی بافت نمونه‌های کیک اسفنجی در روزهای اول، پنجم و دهم با افزایش درصد پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بود. در بین نمونه‌ها در روزهای مختلف نمونه 0/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* کمترین میزان سفتی را نشان داد. به طور کلی افزودن پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* تا سطح 1/5 درصد اختلاف معنی‌دار را در مقایسه با نمونه کنترل نشان نداد (P0/05>).

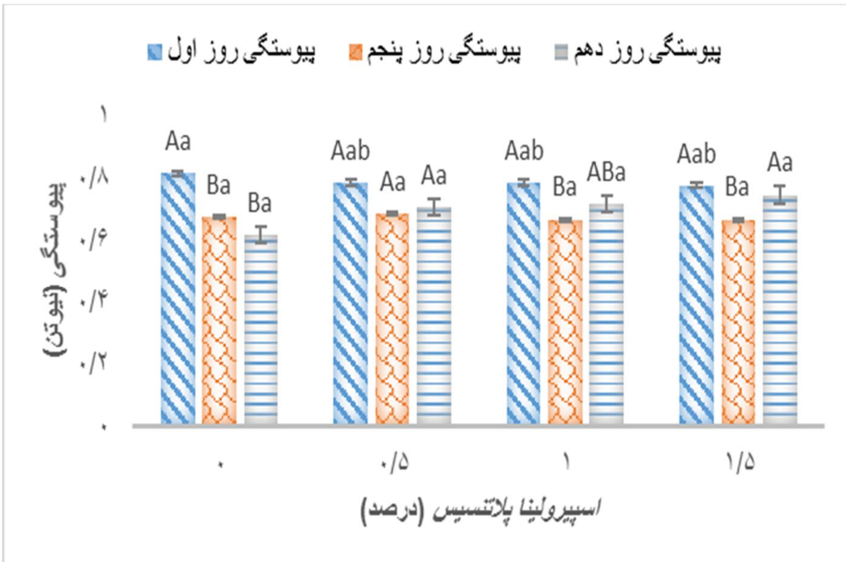


شکل 5- اثر جایگزینی درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* با آرد گندم بر سفتی بافت کیک اسفنجی

(حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌داری دارد).

سلول‌های پروکاریوت *اسپیرولینا پلاتنسیس* دیواره سخت سلولی ندارند که سبب جذب سریع آب توسط محتویات سلولی به خصوص بخش پروتئینی آن می‌گردد. بخش پروتئینی به دلیل خاصیت آب‌دوستی، با ملکول‌های نشاسته به رقابت می‌پردازد که موجب ناپایداری مکانیسم ژلاتینه شدن نشاسته و تعویق آن می‌گردد. شبکه گلوتن در تشکیل ساختار محصولات نانوایی مهم می‌باشد که تحت تاثیر میزان نشاسته و پروتئین می‌باشد، *اسپیرولینا پلاتنسیس* حاوی میزان پروتئین بالایی است که بیشتر شدن میزان پروتئین با افزایش سطح *اسپیرولینا پلاتنسیس* سبب تضعیف شبکه گلوتن می‌شود و این امر باعث ساختار متراکم تر کیک و کم شدن حجم آن می‌شود (افتخاری

یزدی و همکاران، 1398). این احتمال وجود دارد که سفت‌تر شدن بافت کیک‌های اسفنجی حاوی جلبک به دلیل ایجاد پیوندهای هیدروژنی در بخش پروتئینی جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* یا افزایش جذب آب فرمولاسیون توسط فیکوسیانین یا دیگر بخش‌های جلبک باشد (باتیستا و همکاران، 2006). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های صالحی‌فر و همکاران (1391)، در استفاده از جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در تهیه کلوچه صنعتی مطابقت داشت. افتخاری یزدی و همکاران (1398)، گزارش کردند که افزودن جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* تا سطح 1 درصد سفتی نان را کاهش داده و درصدهای بالاتر از 1 درصد باعث افزایش سفتی نان می‌شود.نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر پیوستگی بافت نمونه‌های کیک اسفنجی در روزهای اول، پنجم و دهم در شکل 6، نشان داده شده است.



شکل 6- اثر جایگزینی درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* با آرد گندم بر پیوستگی بافت کیک اسفنجی

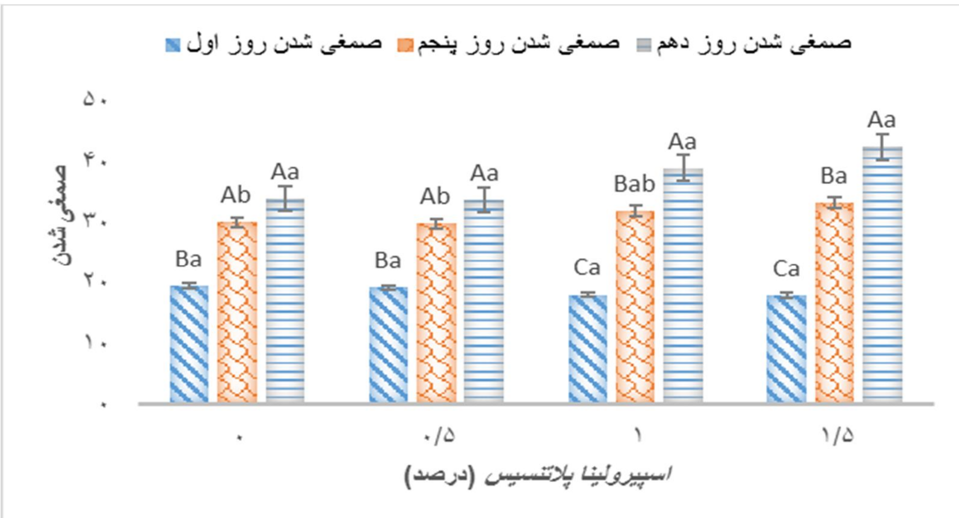
(حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌داری دارد)

نتایج نشان داد که مقایسه دو به دو پیوستگی بافت نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در روزهای اول، پنجم و دهم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند اما بین کیک‌های اسفنجی حاوی جلبک و نمونه کنترل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P < 0/05$). پیوستگی بافت در روز اول و پنجم با افزایش درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* کمی کاهش یافت اما در روز دهم با افزایش درصد جلبک پیوستگی بافت نمونه‌ها افزایش یافت. نتایج این بخش با نتایج پژوهش Golmakani و همکاران (2015)، مطابقت دارد که دلیل آن را افزایش غلظت ریزجلبک در حباب‌های خمیر عنوان کردند که سبب افزایش استحکام می‌گردد. نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر صمغی شدن بافت نمونه‌های کیک اسفنجی در روزهای اول، پنجم و دهم در شکل 7، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که به طور کلی با افزایش درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در نمونه‌های کیک اسفنجی صمغی شدن بافت در روزهای مختلف افزایش یافت. در روز اول با افزایش درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* کاهش صمغی شدن در نمونه‌ها مشاهده شد اما در روزهای پنجم و دهم با افزایش درصد جلبک صمغی شدن بافت نیز افزایش یافت. بیشترین صمغی شدن بافت مربوط به نمونه حاوی 1/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* مشاهده شد. با توجه به مطالعات، صمغی شدن و پیوستگی هر دو تحت تأثیر سفتی قرار می‌گیرند. اسپیرولینا با داشتن گروه‌های قطبی، آب موجود در فرمولاسیون را در ساختار خود به دام انداخته و در نهایت منجر به روند صعودی در میزان صمغی بودن، استحکام و پایداری بافت نمونه‌ها می‌گردد.

اثر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر تغییرات تخلخل کیک اسفنجی

برای محاسبه میزان تخلخل نمونه‌های کیک اسفنجی نسبت نقاط روشن به تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل در نظر گرفته شد. بدیهی است که هر چقدر این نسبت بیشتر باشد، میزان حفره‌های موجود در بافت کیک (درصد تخلخل) بیشتر خواهد بود. اندازه، بزرگ و کوچک بودن حفرات بر میزان تخلخل ارتباط مستقیمی ندارد و درصد تخلخل، تحت تأثیر تعداد کل حفرات موجود در مغز بافت به سطح کلی محصول و همچنین نحوه توزیع و پراکندگی حفرات است (روشنی و نقی‌پور،

1397). نتایج نشان داد که میزان تخلخل در نمونه کنترل و نمونه حاوی 1/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، در سطح آماری 5 درصد اختلاف معنی‌داری نداشت. میزان درصد تخلخل در نمونه‌های کنترل، نمونه حاوی 0/5، 1 و 1/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به‌ترتیب 24/94، 37/99، 33/39 و 27/81 بود. نمونه حاوی 0/5درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و نمونه کنترل به‌ترتیب بیشترین و کم‌ترین درصد تخلخل را داشتند. دلیل کاهش میزان تخلخل با افزایش درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، کاهش تعداد حباب‌های هوا نسبت به سطح کل کیک اسفنجی و توزیع غیریکنواخت آن‌ها در بافت محصول می‌باشد. دلیل بیشتر بودن درصد تخلخل نمونه‌های دارای ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*، تعداد بیشتر و اندازه کوچکتر حباب‌های هوا موجود در نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد است. همچنین به‌نظر می‌رسد حضور چربی بیشتر موجود در *اسپیرولینا پلاتنسیس* سبب پخش یکنواخت‌تر سلول‌های گازی و به موجب آن افزایش تخلخل کیک می‌گردد. در این زمینه مرادی و همکاران (1395)، با بررسی افزودن ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کیک نتایج مشابهی را گزارش نمودند.



شکل 7- اثر جایگزینی درصدهای مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* با آرد گندم بر صمغی شدن بافت کیک اسفنجی

(حروف غیرمشابه از نظر آماری در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌داری دارد)

ارزیابی اثر سطوح مختلف ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر ویژگی‌های حسی کیک اسفنجی

نتایج حاصل از افزودن سطوح مختلف پودر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر ویژگی‌های حسی (عطر و بو، رنگ، بافت، طعم و مزه، قابلیت جویدن و پذیرش) نمونه‌های کیک اسفنجی در روزهای اول، پنجم و دهم در جدول 5، آورده شده است.

جدول 5- اثر سطوح مختلف جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بر ویژگی‌های حسی کیک اسفنجی

سطح جایگزینی (%)	عطر و بو	رنگ	بافت	طعم و مزه	قابلیت جویدن	پذیرش کلی
صفر	4/45±0/50[a]	4/75±0/54[a]	4/65±0/47[a]	4/40±0/57[a]	4/55±0/50[a]	4/40±0/52[ab]
0/5	4/40±0/67[a]	4/85±0/80[a]	4/65±0/47[a]	4/40±0/74[a]	4/65±0/58[a]	4/45±0/71[a]
1	4/14±0/82[a]	4/00±0/78[b]	3/97±0/84[a]	3/65±0/63[b]	4/10±0/70[a]	3/77±0/71[b]
1/5	3/85±0/88[a]	3/75±0/63[b]	4/22±0/87[a]	3/75±0/79[ab]	4/15±0/94[a]	4/10±0/74[ab]

حروف غیرمشابه در ستون‌ها نشان دهنده تفاوت معنی‌داری نمونه‌ها در سطح $p<0/05$ است.

نتایج نشان داد که ویژگی‌های عطر و بو، بافت و قابلیت جویدن نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت و بیشترین امتیاز تمامی پارامترهای حسی مربوط به نمونه کنترل و نمونه حاوی 0/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* بود ($P<0/05$). از نظر رنگ بیشترین امتیاز برای نمونه حاوی 0/5 درصد جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و از نظر طعم و مزه نمونه شاهد و نمونه حاوی 0/5 درصد جلبک دارای امتیاز یکسان

بودند. بررسی نتایج امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها نشان داد که افزودن جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کیک اسفنجی در سطح 0/5 درصد بیشترین پذیرش را در بین سایر نمونه‌ها داشت. رنگ سبز مغز کیک اسفنجی برای مصرف‌کنندگان تازگی و جذابیت ایجاد کرد و مقایسه مجموع امتیازات حسی نشان داد که افزودن *اسپیرولینا پلاتنسیس* برای مصرف‌کنندگان رضایت‌بخش بود

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به فرمول کیک اسفنجی جهت غنی‌سازی محصول باعث افزایش پروتئین، مواد معدنی، پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و دیگر ترکیبات فراسودمند، که به‌طور طبیعی در این جلبک وجود دارد شد. نتایج نشان داد که سطوح مختلف (0/5، 1 و 1/5 درصد بر اساس وزن آرد) استفاده شده از جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* اثر معنی‌دار در بافت کیک اسفنجی ایجاد نکرد اما باعث اختلاف معنی‌داری در رنگ محصول شد. افزودن جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* به کیک اسفنجی سبب کاهش هر سه مؤلفه L^*، a^* و b^* شد که این امر بسیار مورد توجه ارزیاب‌ها قرار گرفت. بنابراین می‌توان بیان کرد که غنی‌سازی کیک اسفنجی با *اسپیرولینا پلاتنسیس* راهی مطلوب و آسان جهت انتقال ترکیبات مفید و ارزشمند این جلبک به جوامع بشری است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله برخود لازم می‌دانند که از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

اسمعیلی، سارا.، حسینی، سیده مرضیه.، شجاعی علی آبادی، سعیده. و میرمقتدایی، لیلا. 1396. بهبود کیفی و بافتی کیک اسفنجی فاقد چربی با استفاده از پودر ژل آلوورا. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. 12 (4): 119-111.

افتخاری یزدی، مینو.، شیخ الاسلامی، زهرا. و شریفی، اکرم. 1398. بهبود ویژگی‌های کیفی نان بربری با استفاده از جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*. نشریه ی نوآوری در علوم وفناوری غذایی. 11 (2): 77-69.

انصاری فرد، فاطمه.، رجبی اسلامی، هومن.، شمسایی مهرجان، مهدی. و سلطانی، مهدی. 1396. تأثیر مکمل غذایی اسپیرولینا (*Spirulina platensis*) بر سیستم ایمنی و فاکتورهای بیوشیمیایی خون ماهی کوی (*Cyprinus carpio carpio*). مجله علمی شیلات ایران. 26 (3): 23-33.

ایوبی، اعظم. (1397). تأثیر جایگزینی آرد گندم با پودر سنجد کامل بر خصوصیات کیفی کیک فنجانی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، 13 (2): 88-79.

باباخانی، زهرا.، کرمی، مصطفی. و رضازاد باری، محمود. 1397. استفاده از ریز جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* در فرمولاسیون سس فراسودمند کم کالری غنی شده با آهن و روی. مجله علوم و صنایع غذایی. 84 (15): 125-136.

خزایی پول، اسماعیل.، شهیدی، فخری.، مرتضوی، سید علی. و محبی، محبت. 1394. بررسی اثر سطوح مختلف ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (*Spirulina platensis*)و هیدروکلوئیدهای آگار و گوار روی فعالیت آب، بافت، پارامترهای رنگی و پذیرش کلی پاستیل میوه ای بر پایه پوره کیوی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. 48 (12): 59-47.

دادور، پیمان.، عطای صالحی، اسماعیل. و شیخ الاسلامی، زهرا. 1397. فرمولاسیون کیک بدون گلوتن و بررسی خواص کیفی آن. نشریه‌ی نوآوری در علوم وفناوری غذایی. 10 (2): 70-56.

روشنی، شیوا. و نقی‌پور، فریبا. 1397. بررسی ویژگی‌های بافتی، تصویری و حسی کیک فنجانی حاوی آرد شاه بلوط و سدیم استئاروئیل 2-لاکتیلات. مجله علوم و صنایع غذایی. 79 (15): 120-111.

زارع، زهرا. نوری، لیلا. فهیم دانش، مریم. (1395). بررسی تأثیر جایگزینی آرد گندم با آرد سنجد بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک روغنی. نشریه ی نوآوری در علوم و فناوری غذایی، 8(2).63-55.

زرین، رسول.، قاسم‌پور، زهرا.، رضازاد باری، محمود.، علیزاده، محمد. و مقدس کیا، احسان. 1393. بررسی اثرات ریز جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و صمغ زدو در ماست پروبیوتیک. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. 3 (3): 210-197.

سلیقه‌زاده، رضا.، یاوری، وحید.، موسوی، سید محمد. و ذاکری، محمد. 1393. اثر مکمل غذایی جلبک اسپیرولینا (*Spirulina platensis*) بر برخی از فاکتورهای خونی، ایمنی و بیوشیمیایی سرم ماهی بنی (Gunther, 1874 *Mesopotamichthys sharpeyi*). مجله دامپزشکی ایران. 10 (2): 46-40.

سوزنکار، رضا.، موحد، سارا. و چایچی نصرتی، آرش. 1397. غنی سازی ویفر روکش دار با استفاده از پودر ریز جلبک *آرتروسپیرا (اسپیرولینا) پلاتنسیس*. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. 13 (2): 60-51.

صالحی، فخرالدین. و کاشانی‌نژاد، مهدی. 1397. مدل سازی اثر صمغ گزانتان بر خصوصیات بافتی کیک هویج. مجله علوم و صنایع غذایی. 75(15): 73-82.

صالحی‌فر، مانیا، شهبازی‌زاده، سعیده.، خسروی دارانی،کیانوش.، بهمدی، هما. و فردوسی، روح الله. 1391. بررسی امکان استفاده از پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس در تولید کلوچه‌ی صنعتی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. 7 (4): 72-63.

علوی، نصیره.، کرامت، ملیحه.، گلمکانی، محمدتقی.، لاری، محمود امین.، شکرفروش، شهرام. و نوروزی، مسعود. 1394. بهبود پایداری اکسیداسیون روغن زیتون بکر با استفاده از ریزجلبک اسپیرولینا به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. 10 (4): 74-63.

قائنی، منصوره.، متین‌فر، محمد.، رومیانی، لاله. و چوبکار، نسرین. 1389. ترکیب شیمیایی پودر ریز جلبک اسپیرولینا. فصلنامه زیست‌شناسی شیل آمایش. 2 (1): 61-55.

مرادی، یزدان.، مطلبی، عباسعلی.، قائنی، منصوره.، حدائق، هاله.، مصدق، مجید.، خسروی، کیانوش.، بابائی، محسن .، حسینی، سید هاشم.، شاهرخی، سوسن.، شیخ، غفور. و صفوی، ابراهیم. 1395. بررسی امکان غنی‌سازی برخی از فرآورده‌های غلات (نان، کیک و شیرینی) با استفاده از ریز جلبک *اسپیرولینا*. وزارت جهاد کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور . شماره ثبت: 46554.

مستولی زاده، سید صابر.، مرادی، یزدان.، صدیق مرتضوی، محمد.، مطلبی، عباسعلی. و قائنی، منصوره. 1396. تاثیر افزودن پودر میکروجلبک اسپیرولینا بر ترکیب اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه پاستا. مجله علمی شیلات ایران. 26 (4): 130-119.

مستولی زاده، سید صابر.، مرادی، یزدان.، صدیق مرتضوی، محمد.، مطلبی، عباسعلی. و قائنی، منصوره. 1398. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماکارونی غنی شده با پودر ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس. علوم غذایی و تغذیه. 16 (2): 113-105.

مهربان سنگ آتش، معصومه.، محمدی ثانی،علی. و صراف، مژده. 1392. بررسی خصوصیات فیزیکو شیمیایی و ارگانولپتیکی دونات غنی شده با آرد سنجد. همایش ملی پدافند غیر عامل در بخش کشاورزی. 9185-9177.

نورمحمدی، الهام.، پیغمبر دوست، سید هادی.، اولادغفاری، عارف.، آزادمرد دمیرچی، صدیف. و حصاری، جواد. 1389. تأثیر جایگزینی ساکارز توسط قندهای الکلی و آسپارتام بر خواص کیک اسفنجی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. 21 (2): 165-155.

نوری، مهران.، ناصحی، بهزاد. و آبدانان مهدی‌زاده، سامان. 1396. مدلسازی اثر افزودن صمغ فارسی و پودر تفاله هویج بر ویژگی‌های بینایی دونات با استفاده از روش سطح پاسخ. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. 14 (65): 96-85.

وطن دوست، سمیه.، عزیزی محمد حسین.، حجت الاسلامی، محمد.، مولوی، هومان. و رئیسی زهرا. 1394. تاثیر افزودن پودر سنجد بر ویژگی های کیفی نان همبرگر. فصلنامه علوم و صنایع غذایی. 49 (12): 84-73.

AACC International. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (9thed). St. Paul, MN, USA: *American Association of Cereal Chemists*.

Abu-Taweela GM, Mohsen AM, Antonisamy P, Arokiyaraj S, Kim HJ, Kim SJ, Park KH, Kim YO. 2019. Spirulina consumption effectively reduces anti-inflammatory and pain related infectious diseases. *Journal of Infection and Public Health*.

Alizadeh Behbahani, B., & Imani Fooladi, A. A. 2018. Development of a novel edible coating made by Balangu seed mucilage and Feverfew essential oil and investigation of its effect on the shelf life of beef slices during refrigerated storage through intelligent modeling. *Journal of Food Safety*. 38(3): e12443.

Alizadeh Behbahani, B., Yazdi, F. T., Shahidi, F., Mortazavi, S. A., & Mohebbi, M. 2017. Principle component analysis (PCA) for investigation of relationship between population dynamics of microbial pathogenesis, chemical and sensory characteristics in beef slices containing Tarragon essential oil. *Microbial Pathogenesis*. 105: 37-50.

Batista, A.P., Raymundo, A., Sousa, I., Empis, J., and Franco, J.M. 2006. Colored food emulsions – implications of pigment addition on the rheological behaviour and microstructure. *Food Biophysics*. 1, 216-227.

Golmakani, MT., Moayyedi, M., Raissjalali, A., Pesaran, P. and Aghajani, A. 2015. Investigation of Physicochemical, Nutritional, Textural, and Sensory Properties of Iranian Yazdi Cupcake Enriched with Spirulina (*Arthrospira platensis*). International Conference on Latest Trends in Food, Biological & Ecological Sciences. 30-34.

Jogihalli, P. Singh, L. Sharanagat, V.S. (2017). Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). *LWT - Food Science and Technology*, 79: 223-233.

Lemes, A.C., Takeuchi, K.P., Carvalho, J.C.M.D. and Danesi, E.D.G., 2012**.** Fresh pasta production enriched with *Spirulina platensis* biomass. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55(5): 741-750.

Sharma, P. and Gujral, H. S. 2011. Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley. *Food Research International*. 44 (1): 235-240.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 207- 220

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد-تیر 1399 ص.220-207

Investigation of the effect of different *Spirulina platensis* levels on nutritional, physicochemical and sensory properties of sponge cake

N. Zanganeh[1], H. Barzegar[2*], B. Alizadeh Behbahani[3], M. A. Mehrnia[3]

Received: 2019.07.11
Accepted: 2019.07.24

Introduction: *Spirulina platensis* belongs to the Division of *Cyanobacteria* and the family of *Oscillatoriaceae*. It is autotroph and photo-synthesizer and can be reproduced through double cell division. *Spirulina platensis* is a filamentous blue-green multi-cellular microalgae naturally occurring in the tropical and alkaline lakes of America, Mexico, Asia and central Africa. It contains unique and extraordinary nutrients which can be used in the production of functional foods. Among bakery and flour products, cake has a relatively high diversity and long shelf-life and is famous among a variety of people, especially children. Since the knowledge associated with the enrichment of sponge cake, as a popular product among different communities (in particular, children) is limited, the aim of the present research is to produce a sponge cake enriched with *spirulina platensis*, and to examine its nutritional, physicochemical and sensory properties.

Materials and methods: In this research, the effect of *Spirulina platensis* at four levels (0, 0.5, 1 and 1.5%) was investigated on the nutritional properties (protein, fat, iron, zinc and copper contents), physicochemical properties (moisture content, pH, total phenol content, antioxidant potential, textural properties and color indices) and sensory attributes (odor, color, texture, flavor and taste, chewiness and total acceptance) of the sponge cake samples prepared with wheat flour.

Results and discussion: Results showed that algae powder was rich in protein (56.33%) and iron (13.18 ppm). The addition of *Spirulina platensis* to the sponge cake caused reduction in its moisture content during storage (days 1, 5 and 10). The results also revealed that the different levels of algae addition brought about significant differences in the moisture content of the samples ($p<0.05$). The results also indicated that the protein, fat and mineral contents as well as other nutritional properties of the sponge cake increased as the algae content was elevated. The total phenol content of the cake samples was also raised with an increase in the algae powder level, compared with the control. This could be attributed to the large amounts of phytochemical and biological active substances such as flavonoids, sterols and other phenolic compounds. The results demonstrated that the porosity values of the control and the sample containing 1.5% of the algae were not significantly ($p<0.05$) different. The percentage of porosity was equal to 24.94, 37.99, 33.39 and 27.81 in the control and the samples containing 0.5, 1 and 1.5% of *Spirulina platensis*. Overall, the sample with 0.5% of the algae and the control had the highest and lowest porosity percentage respectively. As the algae level rose, the textural parameters (hardness, cohesiveness and gumminess) of the sponge cake increased on days 1, 5 and 10 of the storage period. The colorimetry results showed that the effect of *Spirulina platensis* was significant ($p<0.05$) on color parameters (L*, a* and b*). Sensory evaluation revealed that the sponge cake with 0.5% of the microalgae was the most acceptable among the samples. The green color of the cake crumb was attractive to the panelists and a comparison between the total sensory scores indicated that the incorporation of *Spirulina platensis* into the sponge cake was desirable from the panelists` points of view. The results of this study demonstrated that the addition of *Spirulina platensis* to sponge cake for the enrichment of this product, caused an increase in its protein and mineral contents, antioxidant potential, in addition to other functional ingredients naturally occurring in this algae. The results revealed that different levels of this algae (0.5, 1, and 1.5%) did not significantly affect the cake texture, however, had a significant impact on its color. Incorporation of *Spirulina platensis* into sponge cake reduced its L*, a* and b*, which was highly noticed by the panelists. Therefore, it can be declared that enrichment of sponge cake, as a popular product among different people of societies, particularly children, is a desirable and easy way of transferring the useful and valuable compounds of this algae to human.

Keywords: *Spirulina platensis*, Textural properties, Sponge cake, Sensory properties.

1, 2 and 3 MSc. student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
(*Corresponding author's email: hbarzegar@asnrukh.ac.ir)